

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВПО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета
института машиностроения и
аэрокосмической техники

проф. Дроздов И.Г. _____
(подпись)
" ____ " _____ 2014 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Тепломассообмен в энергетических установках

(наименование дисциплины (модуля) по УП)

Закреплена за кафедрой: ТиПТЭ

Направление подготовки (специальности):

24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»

(код, наименование)

Профиль: "Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов"

(название профиля по УП)

Часов по УП: 108; Часов по РПД: 108;

Часов по УП (без учета часов на экзамены): 108; Часов по РПД: 108;

Часов на самостоятельную работу по УП: 48 (44 %);

Часов на самостоятельную работу по РПД: 48 (44 %);

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 3;

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены - 0; Зачеты - 2; Курсовые проекты - 0;

Курсовые работы - 0.

Форма обучения: очная;

Срок обучения: нормативный;

Ориентация программы: программа подготовки аспирантов;

Вид профессиональной деятельности: экспериментально-исследовательская

Распределение часов дисциплины по курсам

Вид занятий	№ семестров / число учебных недель в семестрах									
	1 / 18		2 / 18		3 / 18		4 / 18		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции			30	30					30	30
Лабораторные			-	-					-	-
Практические			30	30					30	30
Ауд. занятия			60	60					60	60
Сам. работа			48	48					48	48
Итого			108	108					108	108

Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника», утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 890.

Программу составил: _____ к.т.н. Дахин С.В.
(подпись, _____) _____
ученая степень, ФИО)

Рецензент: _____

Главный конструктор ОАО КБХА, д.т.н., профессор, А.Ф. Ефимочкин

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки аспирантов по направлению 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника», профиль Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры ТиПТЭ

протокол № _____ от " ____ " _____ 2014 г.

Зав. кафедрой ТиПТЭ, д.т.н., профессор _____ А.В. Бараков

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цель изучения дисциплины – формирование компетенций, необходимых для осуществления расчетно-теоретических исследований полей температур с целью выработки рекомендаций по прочностным и силовым свойствам конструкций; разработка методологических основ и принципов проведения расчетов при проектировании и эксплуатации двигателей и энергоустановок
1.2	Для достижения цели ставятся задачи:
1.2.1	- изучить и освоить расчетные методики теплообмена в двигателях и энергетических установках на основании приближений и допущений математического моделирования,
1.2.2	- приобрести практические навыки использования современного программного обеспечения и проведения всестороннего анализа результатов исследований теплообмена в двигателях и энергетических установках.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Цикл Б1.В.ОД	Код дисциплины Б1.В.ОД.3
2.1.	<p>Требования к предварительной подготовке обучающегося</p> <p>Дисциплина «Теплообмен в энергетических установках» представляет собой специальную дисциплину отрасли науки и научной специальности и относится к направлению «Авиационная и ракетно-космическая техника».</p> <p>Дисциплина базируется на курсах цикла естественнонаучных дисциплин:</p> <p>Физика Математика Химия</p>
2.2.	<p>Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</p> <p>Б1.В.ДВ.1.1 - Математическое моделирование рабочих процессов в энергетических установках Б1.В.ДВ.1.2 - Основы интеллектуальной деятельности при решении научно-технических задач</p>

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Выпускник, освоивший программу аспирантуры, должен обладать следующими компетенциями:

Код компетенции	Наименование компетенции
ОПК	ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ
ОПК-1	владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области авиационной и ракетно-космической техники
ОПК-2	владение культурой научного исследования в области авиационной и ракетно-космической техники, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
ОПК-3	способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области авиационной и ракетно-космической техники с учетом правил соблюдения авторских прав

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	знать:
3.1.1	- основы моделирования, расчета и анализа тепловых состояний двигателей и энергоустановок (ОПК-2);
3.1.2	- оценочные приемы определения состояния двигателей и энергетических систем (ОПК-1);
3.2	уметь:
3.2.1	- проводить анализ состояния тепловых режимных факторов двигателей и энергетических систем и оценку эффективности их функционирования (ОПК-1);
3.3	владеть:
3.3.1	- навыками практического применения результатов расчета и анализа тепловых состояний для выработки рекомендации по повышению эффективности функционирования двигателей и энергосистем (ОПК-2).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Введение. Общие сведения	4	1-2	6	6	-	8	20
2	Теплопроводность	4	3-6	6	6	-	10	22
3	Конвективный теплообмен. Теплообмен излучением	4	7-10	6	6	-	10	22
4	Процессы тепло- и массообмена	4	11-14	6	6	-	10	22
5	Основы теплового и гидравлического расчёта двигателей и энергоустановок	4	15-18	6	6	-	10	22
Итого:				30	30	-	48	108

4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
1-2	Введение. Общие сведения. Общие понятия. Основные процессы передачи теплоты. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплообмене. Современные проблемы теплоотдачи. Вклад отечественных ученых в развитие изучаемой дисциплины. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона-Рихмана	6

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
3-4	Теплопроводность. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Распределение температуры при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку	3
5-6	Конвективный теплообмен. Теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкости, существенные для процессов течения и теплоотдачи	3
7-10	Теплообмен излучением. Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка; закон Вина. Серое тело. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта	6
11-14	Процессы тепло- и массообмена. Основные положения теории массообмена. Термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз	6
15-18	Основы теплового и гидравлического расчёта двигателей и энергоустановок. Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи	6
Итого часов:		30

4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Тема и содержание практического занятия	Объем часов	Виды контроля
1-2	Введение. Общие сведения. Закон Фурье. Градиент температуры	6	тестовый опрос
3-4	Теплопроводность. Нестационарная теплопроводность тел конечных размеров	3	тестовый опрос
5-6	Конвективный теплообмен. Теплоотдача при кипении жидкости	3	тестовый опрос
7-10	Теплообмен излучением. Теплообмен излучением в поглощающей среде	6	тестовый опрос
11-14	Процессы тепло- и массообмена. Тепломассообмен при испарении пара в парогазовую смесь	6	тестовый опрос
15-18	Основы теплового и гидравлического расчёта двигателей и энергоустановок. Тепловой расчет теплообменных аппаратов	6	тестовый опрос
	Контрольная работа		
Итого часов:		30	

4.3 Лабораторные работы

Не предусмотрены.

4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1-2	Введение. Общие сведения. Основные термины и понятия.	тестовый опрос	8
3-4	Теплопроводность. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через плоскую ребристую стенку. Способы интенсификации процессов теплопередачи. Связь вопросов интенсификации теплопередачи с современными проблемами экономии материальных и энергетических ресурсов и повышением экономичности производства	тестовый опрос	10
5-6	Конвективный теплообмен. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях жидкости. Динамический и тепловой пограничные слои. Основные допущения теории плоского пограничного слоя. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, условия однозначности	тестовый опрос	5
7-10	Теплообмен излучением. Виды лучистых потоков. Их взаимная связь. Интегральные уравнения излучения. Угловые коэффициенты и взаимные поверхности. Зональный метод расчета теплообмена излучением в системе двух тел. Особенности теплообмена в замкнутой системе	тестовый опрос	5
11-14	Процессы тепло- и массообмена. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионный критерий Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена	тестовый опрос	10
15-18	Основы теплового и гидравлического расчёта двигателей и энергоустановок. Средний температурный напор. Определение температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока. Выражение для полного падения давления в теплообменнике. Сопротивление трения и местные сопротивления. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителей	тестовый опрос	10
	Подготовка к тестированию	Допуск к зачету	
	Подготовка к зачету	Зачет	
Итого часов:			48

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:
5.1	Информационные лекции; а) дискуссия, б) ИТ-методы
5.2	Практические занятия: а) работа в команде (ИФ) - совместное обсуждение вопросов лекций, домашних заданий, решение творческих задач (метод Делфи); б) выступления по темам рефератов, в) проведение контрольных работ, г) тестовый опрос
5.3	лабораторные работы не предусмотрены
5.4	самостоятельная работа студентов: – изучение теоретического материала, – подготовка к лекциям и практическим занятиям, – работа с учебно-методической литературой, – оформление конспектов лекций, подготовка реферата, отчетов, – выполнение индивидуальных научных расчетов
5.5	консультации по всем вопросам учебной программы.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ

6.1	Контрольные вопросы и задания
6.1.1	Используемые формы текущего контроля: - тестовый опрос; - контрольные работы при выполнении практических занятий; - реферат-презентация
6.1.2	Рабочая программа дисциплины обеспечена фондом оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации
6.2	Темы письменных работ
6.2.1	Контрольная работа № 1 по теме: «Определение коэффициента теплопроводности изоляционных материалов методом цилиндрического слоя»
6.2.2	Контрольная работа № 2 по теме: «Определение коэффициента теплопроводности металлов методом стержня»
6.2.3	Контрольная работа № 3 по теме: «Исследование теплоотдачи при течении жидкости в трубе»
6.2.4	Контрольная работа № 4 по теме: «Исследование теплоотдачи от горизонтального цилиндра при свободной конвекции»
6.3	Другие виды контроля
6.3.1	Реферат-презентация по тематике, касающейся практического применения энергоустановок в ракетно-космической отрасли

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
Основная литература				
1	Брюханов О.Н.	Тепломассообмен. Учебник. ООО «Научная книга», 2012	2012 печат.	1
2	Ерохин Б.Т.	Теория и проектирование ракетных двигателей. Лань, 2015.	2015 печат.	1
Дополнительная литература				
3	Дахин С.В. и др.	Тепломассообмен в водородных паротурбинных установках. Учебное пособие / ФГБОУ ВПО "Воронежский гос. технический ун-т". Воронеж, 2012.	2012 печат.	1
Методические разработки				
4	Шалаев Ф.Н., Булыгин Ю.А., Орлов В.А.	351-2012 Тепловой расчет, определение параметров и оценка прочности камеры сгорания жидкостных ракетных двигателей: Методические указания. Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 1 файл.	2012, электр.	1
Программное обеспечение и интернет ресурсы				
4	ANSYS Student (бесплатная версия) www.ansys.com/Industries/Academic/Student+Product			

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1	Специализированная лекционная аудитория , оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
8.2	Дисплейный класс , оснащенный компьютерными программами для проведения практических работ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

КАРТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРОЙ

Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
Основная литература				
1	Брюханов О.Н.	Тепломассообмен. Учебник. ООО «Научная книга», 2012	2012 печат.	1
2	Ерохин Б.Т.	Теория и проектирование ракетных двигателей. Лань, 2015.	2015 печат.	1
Дополнительная литература				
3	Дахин С.В. и др.	Тепломассообмен в водородных паротурбинных установках. Учебное пособие / ФГБОУ ВПО "Воронежский гос. технический ун-т". Воронеж, 2012.	2012 печат.	1
Методические разработки				
4	Шалаев Ф.Н., Булыгин Ю.А., Орлов В.А.	351-2012 Тепловой расчет, определение параметров и оценка прочности камеры сгорания жидкостных ракетных двигателей: Методические указания. Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 1 файл.	2012, электр.	1
Программное обеспечение и интернет ресурсы				
4	ANSYS Student (бесплатная версия) www.ansys.com/Industries/Academic/Student+Product			

Зав. кафедрой ТиПТЭ

А.В. Бараков

Директор библиотеки

Т.И. Буковшина

РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу по дисциплине «Тепломассообмен в энергетических установках» для направления подготовки 24.06.01 «Авиационные и ракетно-космическая техника» по профилю подготовки 05.07.05 «Тепловые и электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Рабочая программа разработана Дахин С.В., доцентом кафедры теоритической и промышленной теплоэнергетики факультета энергетики и систем управления Воронежского государственного технического университета в соответствии с Федеральным Государственным образовательным стандартом направления подготовки 24.06.01 «Авиационные и ракетно-космическая техника» по профилю подготовки 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Преподавание дисциплины в соответствии с предлагаемой программой позволит решить следующие задачи курса – изучить и освоить расчетные методики тепломассообмена в двигателях и энергетических установках на основании приближений и допущений математического моделирования, приобрести практические навыки использования современного программного обеспечения и проведения всестороннего анализа результатов исследований тепломассообмен в двигателях и энергетических установках.

Комплекс содержит рабочую программу для очной формы обучения и перечень разделов курса с развёрнутым содержанием. В программе представлены перечень основной и дополнительной литературы, перечень тем практических занятий, представлен календарный план чтения лекций, план-график самостоятельной работы студентов.

В связи с вышеизложенным, считаю целесообразным использовать рабочую программу в учебном процессе аспирантов ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет».

Главный конструктор ОАО КБХА,
д.т.н., профессор,
профессор каф. РД ВГТУ

А.Ф. Ефимочкин

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ Комплекс тестовых заданий для входного контроля

№ вопроса	Вопрос	Варианты ответов	№ правильного ответа
1	Одинаковы ли размерности местной концентрации вещества и плотности вещества?	1 - да 2 - нет	1
2	Одинаковы ли размерности молекулярной диффузии и кинематического коэффициента вязкости?	1 - да 2 - нет	1
3	Одинаковы ли размерности молекулярной диффузии D для градиента концентраций и коэффициента молекулярной диффузии D_p для градиента парциальных давлений?	"-"-"	2
4	Одинаковы ли размерности коэффициента диффузии и термодиффузионного отношения K_T ?	"-"-"	2
5	Одинаковы ли размерности коэффициента теплоотдачи и коэффициента массоотдачи?	"-"-"	2
6	Содержится ли коэффициент теплоотдачи в диффузионном критерии Нуссельта?	"-"-"	2
7	Содержится ли коэффициент теплопроводности в диффузионном критерии Нуссельта?	"-"-"	2
8	Могут ли совпадать по направлению градиенты концентрации пара парогазовой смеси над жидкостью в процессе испарения и в процессе конденсации?	"-"-"	2
9	Всегда ли совпадают по направлению градиент температуры и градиент концентрации пара в парогазовой смеси над жидкостью?	"-"-"	2
10	Может ли процесс испарения в парогазовую смесь усилить теплообмен между жидкостью и парогазовой смесью?	"-"-"	1

Критерии оценки заданий: 1 – задание выполнено верно, 0 – в остальных случаях.

Шкала оценивания: не зачтено: 0-70 %, зачтено: 71-100 %.

Методика проведения: в аудитории для практических занятий, в письменной форме, групповой способ, в течение 30 минут, без использования справочной литературы, без использования средств коммуникации, результат - в этот же день

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
Комплекс тестовых заданий для текущего контроля

№ вопроса	Вопрос	Варианты ответов	№ правильного ответа
1	Может ли коэффициент конденсации принимать значения больше единицы?	1 - да 2 - нет	2
2	Верно ли, что рост коэффициента конденсации характеризует снижение скачка температур в кнудсеновском слое?	1 - да 2 - нет	1
3	Верно ли, что увеличение скачка температур в кнудсеновском слое связано с увеличением термического сопротивления на границе раздела фаз при конденсации пара?	"-"-"	1
4	Может ли увеличение термического сопротивления на границе раздела фаз сопровождаться уменьшением общего термического сопротивления тепловому потоку при конденсации?	"-"-"	1
5	Входит ли в состав критерия Рейнольдса для пленки конденсата коэффициент теплоотдачи при конденсации?	"-"-"	1
6	Зависит ли коэффициент теплоотдачи при ламинарном режиме конденсации от температурного напора?	"-"-"	1
7	Верно ли, что поправочный множитель на волновое движение при пленочном ламинарном режиме конденсации больше единицы при $Re = 200$?	"-"-"	1
8	Может ли средний коэффициент теплоотдачи при капельной конденсации водяного пара уменьшаться при увеличении температурного напора?	"-"-"	1
9	Верно ли, что коэффициент теплоотдачи при капельной конденсации водяного пара больше, чем при пленочной конденсации этого же пара?	"-"-"	1
10	При конденсации пара на вертикальных стенках толщина пленки конденсата увеличивается по мере стекания ее вниз?	"-"-"	1

Критерии оценки заданий: 1 – задание выполнено верно, 0 – в остальных случаях.

Шкала оценивания: не зачтено: 0-70 %, зачтено: 71-100 %.

Методика проведения: в аудитории для практических занятий, в письменной форме, групповой способ, в течение 30 минут, без использования справочной литературы, без использования средств коммуникации, результат - в этот же день

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Вопросы к зачету

1. Физический механизм процесса теплопроводностью в различных средах. Температурное поле, градиент температуры, плотность теплового потока.
2. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его зависимость от различных факторов.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Линейные и нелинейные задачи.
4. Теплопроводность плоской стенки с постоянным и зависящим от температуры коэффициентом теплопроводности.
5. Теплопередача через многослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термические сопротивления.
6. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр. Понятие об оптимизации тепловой изоляции.
7. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения.
8. Нестационарная теплопроводность пластины при граничных условиях третьего рода.
9. Нестационарная теплопроводность длинного цилиндра. Теплопроводность тел конечных размеров (параллелепипед, цилиндр).
10. Определение количества теплоты, отдаваемого или воспринимаемого телом в процессе нестационарной теплопроводности.
11. Конвективный теплообмен как совокупность молекулярного и молярного переноса теплоты. Теплоотдача. Понятие о тепловом пограничном слое. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном режимах течения.
12. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнения энергии, движения и сплошности. Краевые условия.
13. Теория подобия. Безразмерные комплексы (критерии подобия).
14. Теплоотдача при конвекции в большом объеме и обобщение методами теории подобия. Расчетные соотношения.
15. Теплоотдача при свободной конвекции в ограниченном пространстве.
16. Образование теплового и гидродинамического пограничных слоев при неизотермическом течении с большими критериями Пекле и Рейнольдса.
17. Простейшая модель турбулентности. Законы сопротивления и теплообмена при турбулентном течении.
18. Теплоотдача при турбулентном режиме. Теплоотдача при турбулентном обтекании плоской пластины.
19. Теплообмен в трубах при ламинарном течении. Гидродинамическая и тепловая стабилизация.
20. Теплообмен в трубах при турбулентном течении. Гидродинамическая и тепловая стабилизация.
21. Влияние шероховатости и изгиба труб на теплоотдачу. Теплоотдача в каналах некруглого поперечного сечения.
22. Теплоотдача при поперечном обтекании труб и пучков труб. Режимы течения.
23. Средний температурный напор.
24. Анализ решения задачи нестационарной теплопроводности пластины в предельных случаях малых и больших чисел Био и Фурье. Регулярный режим.
25. Дифференциальное уравнение энергии.
26. Дифференциальное уравнение движения (Навье-Стокса).
27. Формулировка краевых задач теплопроводности: начальные условия, граничные условия четырех родов.

28. Явление отрыва пограничного слоя. Влияние гидродинамики потока на локальную и среднюю теплоотдачу.
29. Теплоотдача при течении газов с большой скоростью.
30. Жидкометаллический теплоносители, теплоотдача.
31. Теплоотдача в разреженных газах.
32. Пленочная и капельная конденсация. Термические сопротивления при конденсации. Условия взаимодействия на границе раздела фаз.
33. Влияние скорости пара при конденсации. Конденсация на горизонтальных трубах и пучках труб.
34. Теплообмен при конденсации практически неподвижного пара в условиях ламинарного и турбулентного режимов течения пленки конденсата.
35. Кипение в большом объеме. Пузырьковый и пленочный режимы. Условия возникновения паровой фазы, критический радиус пузырька. Числоцентров парообразования.
36. Механизм теплоотдачи и расчетные соотношения при пузырьковом режиме кипения. Расчет критической плотности теплового потока.
37. Структура двухфазного потока и теплообмена при кипении внутри труб. Кризис кипения.
38. Теплообмен при сублимации вещества.
39. Тепломассообмен при конденсации смеси паров и пара из парогазовой смеси. Зависимость интенсивности теплообмена от содержания неконденсирующегося компонента.
40. Аналогия между процессами переноса массы и теплоты. Величины - аналоги. Методика приближенного определения коэффициента массоотдачи на основе аналогии.
41. Дифференциальные уравнения конвективного массообмена в двухкомпонентных средах. Краевые условия. Коэффициент массоотдачи.
42. Характеристики двухкомпонентных сред. Потoki массы компонентов смеси. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Перенос теплоты в двухкомпонентных средах.
43. Применение законов излучения к серым телам.
44. Расчет лучистого теплообмена между излучающей средой и поверхностью твердого тела.
45. Особенности теплообмена излучением в поглощающей среде (газах и парах).
46. Теплообмен излучением в замкнутой системе серых тел. Частные случаи: тела с плоскопараллельными поверхностями и экранами между ними; тела, одно из которых находится в полости другого.
47. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой.
48. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело. Законы излучения черного тела. Серые тела.
49. Основные понятия и законы теплового излучения.
50. Типы теплообменных устройств. Основные уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов.

Критерии оценки ответов:

- 1 – ответ верный, в полном объеме;
 0,5 – ответ верный, но не полный;
 0 – ответ неверный.

Шкала оценивания:

Итоговый балл	0÷0,5	1	1,5÷2	2,5÷3
Оценка	2	3	4	5

Методика проведения: зачет проводится в аудитории для лекционных или практических занятий, используется устный метод контроля, применяется индивидуальная форма, задается по 3 вопроса, время проведения зачета – до 1 часа (для лиц с ограниченными возможностями – 2 академических часа), ответы даются без использования справочной литературы (конспектов) и средств коммуникации, результат представляются в течении 3-х часов после окончания аттестации.